

D²BIOFRUITS - Développement de méthodologies d'évaluation des pertes post-récolte et étude de l'efficacité de procédés compatibles avec l'agriculture biologique pour désinfecter et désinsectiser les fruits

Lurol S.¹, Vernin X.², Bébin A.¹, Husson Ph.², Baros C.², Brachet M-L.³, Chillet M.⁵, Brabet C.⁶, Charles F.⁷

¹ CTIFL - Route de Mollégès, F-13210 Saint-Rémy-de-Provence

² CTIFL - 22, Rue Bergère, F-75009 Paris

³ CTIFL - 28 Route des Nebouts, F-24130 Prignonieux

⁴ CTIFL - 751, Chemin de Balandran, 30127 Bellegarde

⁵ CIRAD - Station de Ligne-Paradis, 7 chemin de l'Irat, F-97410 Saint-Pierre, La Réunion

⁶ CIRAD - TA B95/16, 73 rue Jean-François Breton, F-34398 Montpellier Cedex 5

⁷ LPFLEA 4279 - Université d'Avignon, 301 rue Baruch de Spinoza, F-84916 Avignon cedex 9

⁸ Domaine expérimental La Tapy - 1881 chemin des galères, F-84200 Carpentras

⁹ EPLEFPA Saint-Paul - Route de Mafate, F-97460 Saint-Paul, La Réunion

¹⁰ S.A.S Reuse - Mas Saint Jean, F-30127 Bellegarde

¹¹ ProNatura - 754 Av. Pierre Grand MIN, BP107, F-84303 Cavaillon Cedex

¹² Xeda international - 1397 Route nationale 7, Zac la Crau, F-13670 Saint-Andiol

¹³ Koppert - 147 Avenue des Banquets, F-84300 Cavaillon

Avec la contribution de tous les partenaires du projet D²BIOFRUITS :

Landry P.¹, Aubert C.¹, Chalot G.¹, Bony Ph.¹, El Boukili C.¹, Luc S.¹, Hutin C.², Moronvale A.³, Hennion B.³, Vaysse P.³, Reynier P.³, Weydert C.⁴, Mandrin J-F.⁴, Meile J-C.⁵, Joas J.⁶, Sallanon H.⁷, Reynaud C.⁸, Filleron E.⁸, Wilt M.⁹, Reuse N.¹⁰, Ophèle P.¹¹, Tremblay V.¹¹, De Barbeyrac J.¹², Coëffic M.¹², Marcone A.¹², Piron M.¹³, Lascaux E.¹³, Davaud A.¹³

Correspondance : lurol@ctifl.fr

Résumé

Les recherches menées dans le cadre du projet D²BIOFRUITS ont porté sur quatre espèces de fruits jugées sensibles aux pertes : la pêche, la mangue, la châtaigne et le raisin de table. Dans une première action, des méthodologies de quantification et d'évaluation des causes de pertes dans la filière fruits et légumes frais ont été développés grâce à des diagnostics d'entreprises et l'identification des processus clés. Une méthode d'identification des maladies de la châtaigne et un outil pour anticiper les pertes pour le raisin de table ont également été mis au point. Les autres travaux ont porté sur l'évaluation de méthodes physiques (traitements thermiques, atmosphère contrôlée, anoxie, UV-C) ou faisant appel à des produits de biocontrôle (levure antagoniste et huiles essentielles). Les méthodes physiques se sont révélées être les plus efficaces pour lutter contre le développement des pourritures ou détruire d'éventuels insectes à l'intérieur des fruits et certaines peuvent être rapidement transférées à grande échelle. L'application de la levure antagoniste *Metschnikowia fructicola* ou d'huiles essentielles a montré une efficacité *in vitro* sur les champignons responsables des pourritures des fruits mais cette efficacité n'a pas été confirmée lors d'une application sur fruits après récolte.

Mots-clés : diagnostic des pertes, traitements thermiques, UV-C, anoxie, huiles essentielles

Abstract: Development of post-harvest methodologies to assess fruit losses and study of the effectiveness of organic farming compatible processes to disinfect and disinfest fruit (D²BIOFRUITS)

Research carried out in the D²BIOFRUITS project focussed on four fruit species considered susceptible to losses: peach, mango, chestnut and table grapes. First, tools for quantifying and evaluating the factors causing losses in the fresh fruit and vegetable sector were developed through company diagnostics and identification of key processes. A method to identify chestnut diseases and a tool to anticipate losses of table grapes have also been developed. Other research focussed on the evaluation of physical methods (heat treatments, controlled atmosphere, anoxia, UV-C) or using biological control products (antagonistic yeast and essential oils). Physical techniques have been found to be the most effective in controlling the development of rot or killing insects inside the fruit, and some can be quickly transferred on a large scale. The application of the antagonistic yeast *Metschnikowia fructicola* or essential oils have shown in vitro efficacy on fungi responsible for fruit rot, but this efficacy has not been validated in post-harvest fruit applications.

Keywords: fruit losses diagnostic, heat treatments, UV-C, anoxia, essential oils

Introduction

Les pertes de fruits depuis la récolte jusqu'au consommateur représentent des volumes importants en fonction des espèces et à plus forte raison en agriculture biologique (AB). Ces pertes ont un impact à plusieurs niveaux : (i) elles réduisent le revenu des différents acteurs de la filière, depuis les producteurs jusqu'aux distributeurs, (ii) limitent le développement des volumes en AB, (iii) peuvent mettre en péril la survie de certaines structures de production et (iv) augmentent *a priori* le prix de vente final du produit, avec des conséquences négatives sur les actes d'achat et de rachat par les consommateurs. Par ailleurs, l'approvisionnement en fruits et légumes frais issus de l'agriculture biologique constitue depuis quelques années une demande grandissante de la part des consommateurs. Des quantités suffisantes de fruits répondant à ce cahier des charges doivent pouvoir être produites et commercialisées pour satisfaire cette demande. Cet objectif nécessite de mettre en œuvre des itinéraires de culture et de maintien de la qualité après récolte pour limiter les pertes, et proposer des produits de qualité.

Les pertes peuvent être liées à de nombreux facteurs comme l'altération des fruits par des bioagresseurs, les manipulations et les pertes d'eau. Les conditions « idéales » de conservation et de préservation des fruits et légumes sont différentes suivant les espèces et les variétés. De plus, le marché est lui-même très irrégulier, rendant l'anticipation et la planification difficiles (production soumise à divers aléas, comportements de consommation divers et changeants en fonction de la météo, prévisions de ventes incertaines, jeu concurrentiel complexe...). La conciliation des différents facteurs est un enjeu majeur pour les entreprises de mise en marché et de distribution.

C'est dans ce contexte que le projet D²BIOFRUITS a été mené sur la période 2014 – 2017 avec pour objectif à la fois d'évaluer les niveaux de pertes de fruits et légumes dans la filière et de développer des solutions compatibles avec l'agriculture biologique permettant la réduction de ces pertes (Lurol, 2014). Le projet piloté par le CTIFL, a regroupé huit autres partenaires : Cirad, Université d'Avignon, EPLEFPA Saint-Paul à La Réunion, Domaine expérimental de La Tapy, S.A.S Reuse, ProNatura, Xeda, Koppert.

Le projet a été construit autour de quatre espèces de fruits (pêche, mangue, raisin de table et châtaigne), repérées comme très sensibles aux bioagresseurs. Pour ces quatre espèces, les volumes produits en France en AB sont très différents : de 60 % pour la châtaigne à seulement 6 % pour la pêche (Agence bio 2016), témoignant de réelles problématiques pour ce mode de production, en fonction des espèces. Les niveaux de pertes sont plus élevés qu'en conventionnel et les moyens de lutte contre les bioagresseurs plus limités. En châtaigne, produite majoritairement en AB, les pertes

après récolte peuvent représenter jusqu'à 50 % de la production les mauvaises années (insectes et pourritures). Pour le raisin de table, les producteurs en AB sont en attente d'une technique permettant de conserver leur produit pendant 2 à 3 mois, afin d'adapter l'offre à la demande du marché et aussi de pouvoir accroître les quantités produites. Cette durée de stockage n'est pas envisageable actuellement du fait du développement de *Botrytis cinerea* après la récolte. Pour la pêche, les maladies de conservation et notamment les monilioses constituent un problème crucial avec parfois une perte totale des fruits en quelques jours à température ambiante, rendant cette espèce difficile à produire en agriculture biologique. Enfin pour la mangue, la problématique est double, avec des dégâts liés aux insectes (notamment le risque de mouche des fruits pour lequel des traitements de quarantaine doivent être appliqués avant l'export), et le développement de pathogènes de contamination latente (anthracnose, pourriture du pédoncule).

Cet article présente les principaux résultats issus des trois actions techniques menées pendant le projet.

1. Développement de méthodologies de quantification des pertes dans la filière et d'identification des facteurs critiques (ACTION 1)

Cette première action était un préalable aux actions 2 et 3 et concernait l'analyse des pertes de fruits dans la filière et l'identification de points critiques et de leviers d'action. Les objectifs étaient (i) de développer des outils de diagnostic permettant de mieux identifier et quantifier les causes de pertes de fruits aux différents stades de la filière (expédition, gros, détail, grande distribution, magasins bio spécialisés) ; (ii) de développer une méthode permettant de prévoir le potentiel de conservation de lots de raisins de table avant mise en conservation afin d'orienter les lots dans un circuit de commercialisation rapide ou décalé dans le temps ; (iii) d'identifier les principaux champignons responsables du développement de pourritures de la châtaigne.

1.1 Quantification des pertes

Cette quantification a reposé principalement sur un travail d'enquêtes et de recueil de données chiffrées, d'abord limité aux quatre espèces du projet, puis dans la mesure du possible étendu à un nombre plus important d'espèces de fruits et de légumes, afin de profiter des échanges avec les opérateurs et d'avoir une vision plus large des pertes. Une méthodologie a ainsi pu être développée pour homogénéiser le recueil et faciliter l'analyse des données.

Le travail a consisté à recueillir des données issues d'opérateurs de la filière en fonction de leur positionnement dans la filière (plates-formes, grossistes, magasins). Une trame informatique a été élaborée pour formaliser ce recueil, après avoir fait le constat de la difficulté d'analyse de données issues de divers opérateurs. En dehors du fait que les pertes ne sont pas toujours comptabilisées, chaque maillon de la filière se confronte à des facteurs de perte qui ne sont pas toujours identiques. Des différences peuvent apparaître entre opérateurs. Les méthodes de comptabilisation et les unités peuvent être assez divers (poids, valeur, colis, pourcentage). Les données en magasin par exemple ne sont pas faciles à exploiter car souvent insuffisamment suivies. Les évaluations de stocks fréquemment insuffisantes ou imprécises et la pesée des pertes ne sont pas systématiques. Les analyses de pertes au détail ont été réalisées sur la base de relevés de casse hebdomadaires fournis par des magasins spécialisés bio et de leur plate-forme d'approvisionnement (5 magasins en 2014, 4 en 2015), complété par un magasin de la grande distribution (en 2016-17), et de structures de production (30 en 2016-17).

Les données recueillies sont présentées dans le Tableau 1 pour les différents maillons de la filière étudiés (Vernin, 2017a). Les données des plates-formes montrent des taux de perte bien inférieurs à ceux des magasins puisque les produits ne restent pas longtemps sur les sites. Au stade production-

expédition, une trentaine de structures ont été interrogées dont une dizaine rencontrée sur leur site. Dans la majorité des cas, les recueils se sont faits à dire d'experts et rarement sur la base de cahier d'enregistrement précis. Les pertes avant récolte concernent essentiellement les petits fruits et grappillons, les fruits mal formés ou abîmés. À la station, les écarts se produisent au moment du tri et du calibrage essentiellement, auxquels viennent s'ajouter les pertes éventuelles après conservation.

Tableau 1 : Évaluation des pertes post-récolte par stade de la filière en % des achats (Vernin, 2017a).

| | Production - Expédition | Plate-forme de gros | Grande Distribution | Magasin spécialisé bio |
|---------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| Pêche et nectarine | 15 à 25 % | 0,60 % | 2 % | 7 % |
| Raisin de table | 10 à 15 % | 0,20 % | 4 % | 4 % |
| Mangue sauvage | | 0,04 % | 1 % | 12 % |
| Mangue pièce | | 0,30 % | | 3 % |
| Châtaigne | 10 à > 50 % | 2,80 % | - | 2 % |

Globalement, les niveaux de pertes sont moindres auprès des opérateurs intermédiaires qu'auprès de ceux situés au début et fin de filière. En outre, leur évaluation et suivi paraissent mieux circonscrits sur ces maillons intermédiaires et moins bien sur les autres. Les causes de pertes sont en effet plus nombreuses en production-expédition et au détail qu'au stade de gros où les produits ne séjournent que peu de temps. Au stade de la production-expédition, la physiologie des espèces, leurs conditions de production et de commercialisation déterminent largement leur résistance et sensibilité intrinsèque à la casse. La diversité des espèces de la gamme des fruits et légumes conduit à des situations singulières et multiples. Leur aptitude à la conservation, à la transformation ainsi qu'à leur valorisation détermine également des niveaux de pertes spécifiques. Les aléas climatiques et parasites constituent des incertitudes qui pèsent très fortement sur l'importance des pertes à laquelle sont confrontés les professionnels. L'hétérogénéité des situations à ce stade de la filière est la plus élevée.

Parallèlement au recueil de données, un questionnaire adressé à des magasins spécialisés bio a été renseigné par plus de 200 chefs de rayon (Vernin, 2017b). Les Figures 1 et 2 regroupent les réponses obtenues à deux questions posées aux chefs de rayon.

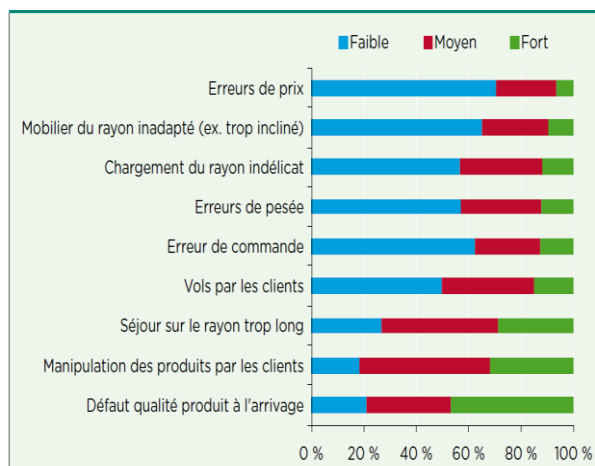


Figure 1 : Quel niveau d'importance donnez-vous à chaque motif de pertes en magasin ? (Vernin, 2017b).

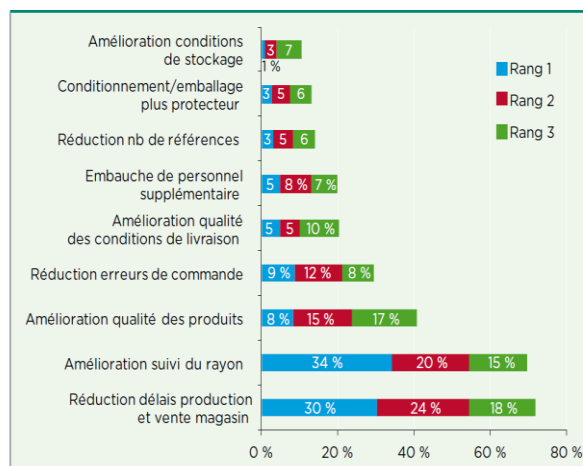


Figure 2 : Quelles sont vos trois premières propositions d'amélioration pour réduire les pertes ? (Vernin, 2017b).

Globalement, les résultats montrent que près d'un magasin sur trois (32 %) ne mesure pas les pertes de son rayon fruits et légumes et 12 % des chefs de rayon qui déclarent mesurer leurs pertes ne le font pas de façon quotidienne. De fait, on peut estimer à près de 40 % le nombre de magasins qui ne disposent pas de procédure de mesure précise et régulière de leurs pertes. Si la quasi-totalité des chefs

de rayon approuve la possibilité de réduire les pertes en rayon, seulement 35 % des répondants qualifient les possibilités d'importantes voire très importantes. Dans les magasins, des supports informatiques de gestion de rayon commun n'empêchent pas des pratiques de suivi des pertes peu uniformes. Les raisons de cette disparité sont nombreuses. La résistance à des relevés exhaustifs peut s'expliquer de différentes façons notamment organisationnelles et économiques (manque de temps et de personnel), techniques (logiciel peu adapté, formation insuffisante), psychologiques (crainte de sanction et/ ou d'objectivisation). Les pesées et les enregistrements apparaissent là aussi de manière plus ou moins précise et systématique (la casse de l'après-midi par exemple va directement à la poubelle sans être comptabilisée). Les approximations peuvent concerner d'autres comptabilisations comme les inventaires de stock. Ces imprécisions fragilisent l'évaluation de la casse et sont une source de démarque inconnue. Les calculs des taux de perte varient également selon les professionnels. La valorisation de la casse s'effectue alternativement sur la base de prix d'achat ou du prix de vente. De même, selon les cas, ces valeurs de casse sont rapportées au montant des achats ou au chiffre d'affaires. À défaut de bien évaluer leur casse, certains majorent leur marge pour assurer un résultat de rayon satisfaisant. Au contraire, les chefs de rayon peuvent chercher à réduire leur démarque en adoptant diverses stratégies comme la politique de compensation de marge entre différentes familles de produits ou de revente de la casse sous forme de vente en lot...

En dernier lieu et afin d'évaluer la perception des pertes au stade consommateur, une étude qualitative a été réalisée, en s'appuyant sur la création d'une communauté online.

Tableau 2 : Origine des pertes et pratiques correctives – forum online consommateurs (Baros, 2017).

| | Les causes des pertes | Les pratiques revendiquées pour les éviter |
|---|--|--|
| Avant l'achat | <ul style="list-style-type: none"> - Pas de liste de courses ni de programmation des repas - Fréquence insuffisante des achats | <ul style="list-style-type: none"> - Liste des repas et liste de courses. - Achats fréquents. - Programmation des menus à l'avance. |
| Sur le point de vente | <ul style="list-style-type: none"> - Méconnaissance des produits : Comment les choisir ? Déterminer la fraîcheur ? Quelle quantité/personne ? Quelle durée de vie ? - Achat de produits qu'on ne se sait ni préparer, ni consommer. - Achat de fruits trop mûrs, ou pas assez, ou sans goût. - Produits abimés non visibles dans un conditionnement préemballé. - Un prix non compris : référence préemballée beaucoup moins chère que le vrac. | <ul style="list-style-type: none"> - Achat de produits locaux, bio, de saison. - Achat direct. - Choix de la qualité plutôt que la quantité. - Recherche de conseil du vendeur chez les spécialistes en magasin. |
| Entre le point de vente et le domicile | <ul style="list-style-type: none"> - Conditions de transport entraînant des chocs. | |
| À domicile | <ul style="list-style-type: none"> - Évolution très rapide du fruit ou du légume. - Mauvaises conditions de stockage et de conservation. - Ignorance du mode de préparation, voire de consommation d'un fruit ou d'un légume. - Oubli dans le bac à légume, ou dans la corbeille de fruits. - Manque d'idée d'utilisation de petites portions de fruits ou de légumes. | <ul style="list-style-type: none"> - Calendrier des saisons accessible. - Grignotage des fruits disponibles à tout moment de la journée. - Légumes stockés de manière visible. - Recherche de recettes quand manque de connaissance. - Utilisation des restes : smoothies, tartes, pizzas. - Consommation au bureau. - Congélation. |

Les comportements de ces consommateurs, âgés de 25 à 45 ans, ont été observés et analysés grâce à ce forum d'une durée d'un an, réactivé à chaque saison, pour connaître les modalités d'achat, de conservation, de consommation des fruits et légumes frais, en tenant compte de leur saisonnalité. Cette méthode a permis de faire des focus produits sur les espèces raisin et châtaigne et de tester des solutions au gaspillage, suggérées et/ou formulées par le groupe. Les résultats ont mis en évidence plus un aveu d'impuissance qu'un sentiment de culpabilité de la part de ceux-ci mais aussi finalement moins de déchets que prévu. Certains sous-entendent que les Grandes et Moyennes Surfaces (GMS)

portent en grande partie la responsabilité du gaspillage : « elles incitent à acheter ce dont on n'a pas besoin ». La responsabilité de la production a été peu évoquée. Il leur paraît normal de jeter une part d'un produit vivant, qui mûrit, se fane ou pourrit. Le problème de gaspillage se pose à leurs yeux à partir du moment où les quantités jetées sont importantes. Par ailleurs, les modes de conservation à domicile ne semblent pas toujours optimum pour certains fruits et certains légumes. Le Tableau 2 regroupe les pratiques actuelles décrites par les consommateurs comme relevant du « bon sens ».

1.2 Évaluation des causes de pertes

L'objectif de cette tâche était de développer une méthodologie d'évaluation des causes de pertes aux différentes étapes de la filière, depuis la récolte jusqu'à la distribution des produits. Le but était de rentrer dans le détail des pratiques des entreprises pour aller au-delà du déclaratif souvent globalisé sur le sujet des pertes. Une grille d'audit a d'abord été élaborée, puis des diagnostics auprès d'opérateurs de la filière ont été réalisés pendant le projet. Ces diagnostics ont reposé sur l'analyse des différents processus rencontrés dans les entreprises de la filière. À partir de cette analyse, une analyse des risques de pertes quantitatives et qualitatives a été faite à chaque étape et pour chaque processus. Elle s'est appuyée sur la méthode des 5 M (Matière première, Milieu, Méthode, Matériel, Main d'œuvre). Les processus étaient définis en tant qu'activités qu'une entreprise doit mettre en œuvre pour transformer la demande de ses clients en produits ou prestations qui satisferont cette demande. À travers l'utilisation de cette méthode, il s'agissait donc d'étudier l'ensemble des activités corrélées ou interactives qui transforment des éléments d'entrée en éléments de sortie (Norme ISO 9000 : 2000). L'objectif était alors de définir, pour chaque structure visitée quels étaient les processus types permettant la bonne marche de l'activité professionnelle et la réalisation des objectifs fixés pour la commercialisation des fruits et légumes frais. Lors des diagnostics, une représentation de ces processus a été utilisée sous la forme d'un tableau, associant les différentes activités de l'entreprise, les éléments nécessaires à cette activité et ceux résultants de cette activité.

Sur l'ensemble du projet, 20 structures ont été auditées. Les éléments recueillis au cours de ces visites ont permis de développer et de tester un outil d'autodiagnostic pour les entreprises et d'identifier certaines bonnes pratiques permettant d'éviter ou de limiter l'apparition de risques de pertes qualitatives ou quantitatives. L'objectif du travail était d'une part de comprendre comment les entreprises de la filière intégraient ces problématiques dans leurs processus de travail et d'identifier les points critiques à maîtriser. D'autre part, il s'agissait d'analyser ce qui, dans le comportement des acteurs, les méthodes de travail mises en œuvre et les outils utilisés, était facteur de pertes.

Dans un premier temps, les principaux processus appliqués aux différents stades de la filière ont été analysés (expédition, gros-entrepôt, détail) et les activités ont été détaillées. Pour chacune d'elles, une analyse des risques de pertes quantitatives et qualitatives a été faite et des recommandations élaborées. Trois catégories d'entreprises ont été distinguées :

- Catégorie 1 : Producteurs-Expéditeurs / Expéditeurs / Coopératives
- Catégorie 2 : Stade de gros-entrepôt
- Catégorie 3 : Détaillants spécialisés et magasins de la grande distribution

Pour chacune d'elles, un ensemble de processus clés a été identifié et a servi de base aux diagnostics (Tableau 3).

L'ensemble des activités, des données d'entrée et des données de sortie a été complété et synthétisé pour chaque processus à l'issue des diagnostics. La seconde partie du travail a consisté à sélectionner les activités pouvant présenter un ou plusieurs risques potentiels générateurs de pertes en cas de manque de maîtrise. Lors de cette analyse des risques sur les activités au sein de chaque processus, plusieurs mesures de maîtrise des risques ont été listées. Elles se traduisent par l'utilisation de

documents, l'application de procédures spécifiques, la mise en place de méthodes adaptées, ainsi que la gestion des ressources humaines, du matériel et de l'environnement dans lequel se déroulent les activités. À partir de ce constat, un certain nombre de mesures de maîtrise ou d'améliorations pour une bonne gestion de ces risques ont été proposées.

Tableau 3 : Processus pour les trois catégories d'entreprises identifiées lors du projet D²BIOFRUITS.

| Catégorie 1 Producteurs-Expéditeurs / Expéditeurs / Coopératives | Catégorie 2 Stade de gros / entrepôt | Catégorie 3 Détaillants spécialisés et magasins de la grande distribution |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Achat et approvisionnement - Réception-Agréage - Stockage et conservation - Conditionnement - Vente - Préparation de commandes-expédition-logistique | <ul style="list-style-type: none"> - Sourcing des fournisseurs - Achat - Réception et agréage - Stockage d'attente - Préparation de commande - Exposition à la vente - Vente - Expédition et logistique | <ul style="list-style-type: none"> - Établissement de la commande - Réception des produits et mise en rayon - Maintenance, entretien du rayon et réassortiment |

Le suivi des pertes et du gaspillage doit faire partie intégrante des activités des opérateurs, ce qui n'est pas toujours le cas. L'identification de ces pertes, et de leurs origines, à travers différents outils de suivi ou de gestion, permet de mettre en place des actions correctives. Différentes pratiques lors des visites ont pu être observées dans les entreprises :

- Le cahier des pertes : de nombreux professionnels tiennent un cahier ou un registre (éventuellement via un tableur informatique) dans lequel ils inscrivent les pertes constatées au jour le jour. L'objectif est d'avoir un véritable tableau de bord recensant les pertes et les invendus, et qui est exploitable d'une année sur l'autre au regard des commandes passées et du chiffre d'affaires réalisé sur les mêmes périodes. L'objectif est avant tout d'avoir, au moment de la prise de commande, des informations supplémentaires pour ajuster les volumes en fonction des observations réalisées sur des périodes précédentes.

- Des outils adaptés et des points de vente objectivés : les enseignes de la grande distribution, compte-tenu de leur dimensionnement, disposent d'outils informatiques permettant la mise en place d'un suivi des pertes. Ces mêmes enseignes, de plus en plus sensibles aux phénomènes de pertes et gaspillage, ont même commencé à objectiver leurs équipes sur les volumes de produits jetés, afin de les réduire. Dès lors, de nombreux magasins sont aujourd'hui capables de fournir de façon précise, à l'espèce, la valeur des pertes de façon quotidienne. Cependant, il faut rester très prudent sur ces chiffres qui sont difficilement comparables d'une enseigne à l'autre, pour deux raisons principales. La base de calcul n'est pas systématiquement la même : d'une enseigne à l'autre les pertes peuvent être estimées par rapport au chiffre d'affaires (et donc en prix de vente), par rapport au prix d'achat ou encore en volumes. Les mesures des pertes restent aléatoires. Lors des visites, des protocoles de mesure des pertes très précis allant jusqu'à l'identification des espèces via un code GS1 et enregistrement immédiat en base de données informatiques, ont été présentés. Mais aussi précis et fiable que soit le système informatique, certains produits peuvent ne pas être comptabilisés car jetés dans la poubelle sur le point de vente en cours de journée par simple réflexe ou par omission.

- La valorisation des produits non commercialisables : ces produits qui ne satisfont plus les exigences de qualité (commerciales et réglementaires) peuvent être orientés vers des solutions autres que la destruction. Certaines structures utilisent les produits invendables en l'état pour les transformer (plus ou moins sommairement) et les commercialiser ainsi sous la forme de salades composées, de soupes ou encore des confitures et préparations à base de fruits cuits. Le don aux associations est également largement répandu depuis qu'un avantage fiscal est accordé aux entreprises y ayant recours. Les produits à donner sont en général regroupés après le tri réalisé en réserve ou sur le rayon le matin. Ils sont proposés dans la foulée aux associations, qui se chargent alors de venir les récupérer. Une autre

destination peut être le don pour la consommation animale. Enfin, les produits à jeter sont dans certains cas regroupés dans une benne spécifique à l'extérieur du magasin pour être ensuite transférés dans une unité de méthanisation, permettant de produire du biogaz, et donc de l'électricité et de la chaleur (principe de la cogénération).

L'une des conclusions qui ressort de cette étude est le fait que la maîtrise des fondamentaux des métiers de la filière fruits et légumes et des différents processus permet d'éviter une grande partie des pertes quantitatives et qualitatives (Figure 3). L'analyse des causes potentielles de pertes montre que si chaque acteur responsable d'un processus et/ou d'une activité, dispose des éléments d'entrée et des compétences nécessaires, l'organisation pourra limiter les pertes. Toutefois pour atteindre un niveau optimal il convient :

- Qu'une stratégie d'entreprise soit définie ;
- Que les pertes soient déclinées en objectifs propres à chaque processus ;
- Que l'efficacité de chaque processus soit évaluée ;
- Que la communication entre les responsables de processus soit efficace ;
- Que soit mise en place une démarche de progrès au niveau de chaque processus et plus globalement entre leurs responsables.

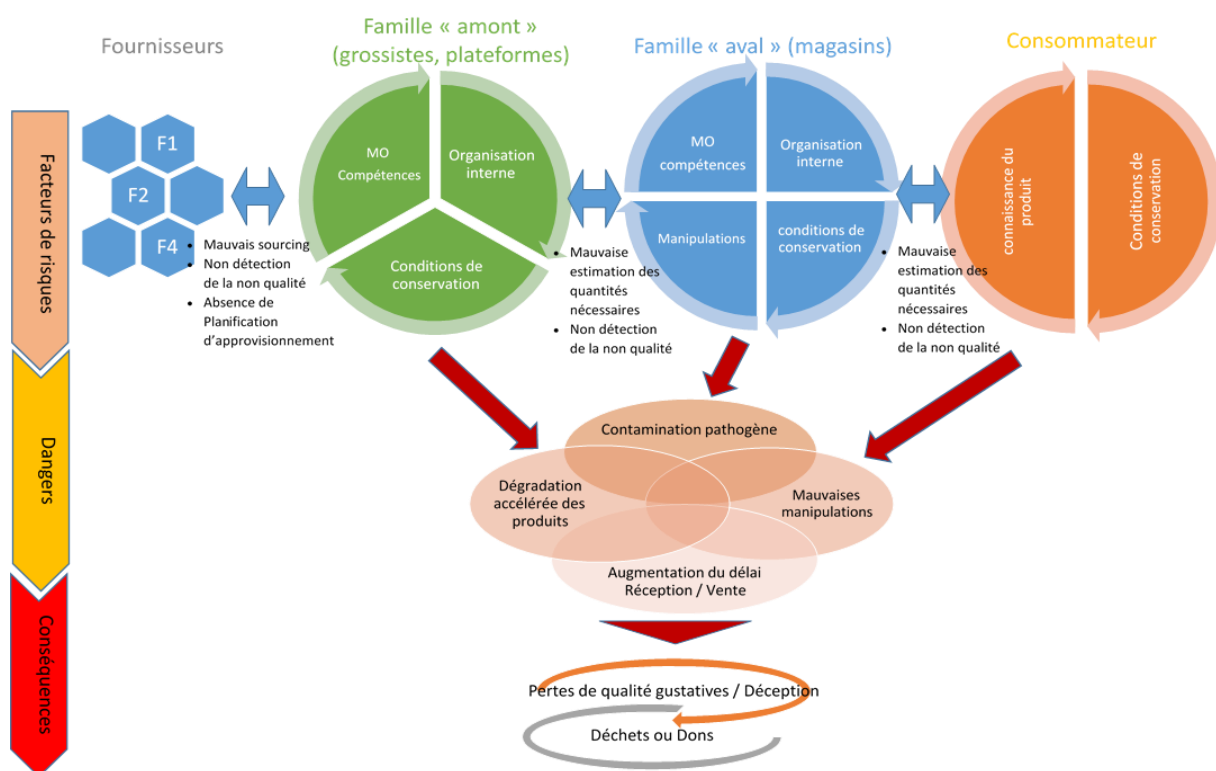


Figure 3 : Synthèse de l'analyse des causes de pertes (source CTIFL).

1.3 Anticipation des pertes en conservation : potentiel de stockage de lots de raisins

L'objectif de cette tâche était de développer un outil d'évaluation des critères de risque pour la conservation du raisin de table afin d'anticiper dès la récolte le potentiel de conservation des lots entreposés. Une grille d'évaluation de ces critères a été élaborée puis testée au cours du projet. Les neuf principaux critères de cette grille étaient les suivants : informations générales sur la parcelle,

situation et environnement de la parcelle, conduite du verger, vigueur de la parcelle, protection phytosanitaire et mesures prophylactiques, facteurs climatiques (avant récolte), observations et notations peu avant et à la récolte, observations après récolte en station et conditions de transfert des lots en station. Chacun de ces critères regroupait un ensemble de sous-critères et une note de risque était définie par situation (Tableau 4).

Tableau 4 : Exemple de critère détaillé, de la grille d'évaluation élaborée au cours du projet D²BIOFRUITS, avec note de risque.

| Critère | Sous-Critère | Note de risque / 5 | Notation |
|--|---|--------------------|----------|
| Situation et environnement de la parcelle | Près d'une parcelle non traitée, abandonnée | 2 | |
| | Isolée ou environnement correct | 0 | |
| | Humidité fréquente, cuvette, bas fond, près d'une mouillère | 2 | |
| | Secteur dégagé, venté | 0 | |

Au cours du projet, 41 lots de raisins dont 13 cultivés en agriculture biologique ont été échantillonnés dans des parcelles du Sud-Est. Chaque lot a été caractérisé sur la base d'une grille de notation préétablie et mis en relation avec son itinéraire de culture et les conditions climatiques de l'année. La qualité des lots, notamment le développement de pourritures liées à *Botrytis cinerea*, a ensuite été évaluée au cours d'un stockage de deux mois en chambre froide (0-1°C) ou au cours d'une phase courte de vieillissement accéléré à température ambiante, réalisée sur des échantillons de baies de raisins placés dans des barquettes.

Les résultats obtenus ont montré que les critères qui ressortent comme étant les plus importants dans l'aptitude à la conservation sont le nombre de traitements anti-*Botrytis* avant récolte et la pluviométrie enregistrée 72 h avant récolte. Les parcelles ayant reçu moins de 5 mm de pluie avant récolte développent généralement moins de botrytis en conservation. Toutefois des différences existent pour des mêmes niveaux de pluviométrie indiquant que d'autres facteurs entrent en jeu, notamment la conduite de la vigne (palissage, taille, opération en vert) et les conditions de transfert des lots en station de conservation. Le classement de l'influence de ces derniers facteurs n'a toutefois pas pu être réalisé en raison d'une faible pression du fait de conditions climatiques avant récolte peu favorables au développement des pourritures en conservation durant les 3 campagnes de récolte au sein du projet.

Le test de conservation des baies à température ambiante s'avère être un bon outil d'évaluation du potentiel de conservation des lots de raisins. Il permet de retrouver les mêmes liens entre les facteurs externes (pluviométrie, traitements anti-*Botrytis*...) et la vitesse de dégradations des baies issues des lots de raisins, que lors du contrôle en fin de conservation. Ainsi, au bout de 15 jours il est déjà possible de classer avec cet outil les lots en fonction de leur capacité à être conservés.

1.4 Caractérisation des pourritures sur châtaigne

Plusieurs agents de contamination sont responsables de pourritures sur châtaigne mais leur biologie et le mode de contamination restent imprécis. On distingue trois principaux types de pourritures : la pourriture noire causée par *Ciboria batschiana*, les pourritures brunes causées par *Phomopsis castaneae* et d'autres pourritures qui se développent principalement pendant la conservation, causées par *Botrytis cinerea* et par *Penicillium expansum* (Conedera et al., 2004). Il s'agissait donc de développer une méthodologie pour identifier les principaux champignons responsables des pourritures brunes à l'origine des pertes les plus importantes. Par ailleurs, il s'agissait de vérifier la présence en France d'un nouveau champignon, qui a été signalée en Italie en 2013.

Au cours de la première année, une étude exhaustive a été menée sur la variété Bouche de Betizac, issue de différentes régions de production. 14 lots de châtaignes ont ainsi été récupérés en Ardèche,

Languedoc-Roussillon, Dordogne et Alpes Maritimes. Une méthodologie d'identification des champignons, basée sur des outils de biologie moléculaire, a été développée (isolement, extraction de l'ADN et séquençage) sur la base de travaux italiens (Visentin et al., 2012). L'analyse des 14 lots de châtaignes a permis d'isoler 70 prélèvements dont 51 ont été séquencés pour identifier les champignons responsables des maladies et construire une mycothèque de référence, qui n'existait pas encore en France. Parmi ces 51 isolats analysés, 46 correspondent à l'espèce *Gnomoniopsis smithogilvyi*. En Italie, il a été montré que la recrudescence récente des pourritures brunes était liée à *Gnomoniopsis castanea*, identifié auparavant en Australie (Maresi et al. 2013). La souche de champignon envoyée en Italie au professeur Maresi, correspond à 99 % à *Gnomoniopsis castanae* au niveau génétique, confirmant pour la première fois la présence de cette souche en France. Par ailleurs, ces deux souches semblent identiques sur le plan taxonomique.

En 2015, les travaux ont porté sur une analyse fongique globale de 3 lots de châtaignes de la variété Bouche de Betizac issus de deux parcelles en Dordogne (Lanxade et Douville) et d'une parcelle en Ardèche (Perrot). L'analyse des 3 lots de châtaignes a mis en évidence une très grande diversité de souches de champignons (Figure 4) dont une quinzaine commune aux 3 parcelles et une forte présence de *Penicillium* et de *Gnomoniopsis* (présents dans 70 à 100 % des châtaignes, même saines visuellement). Certains champignons restent également encore non déterminés.

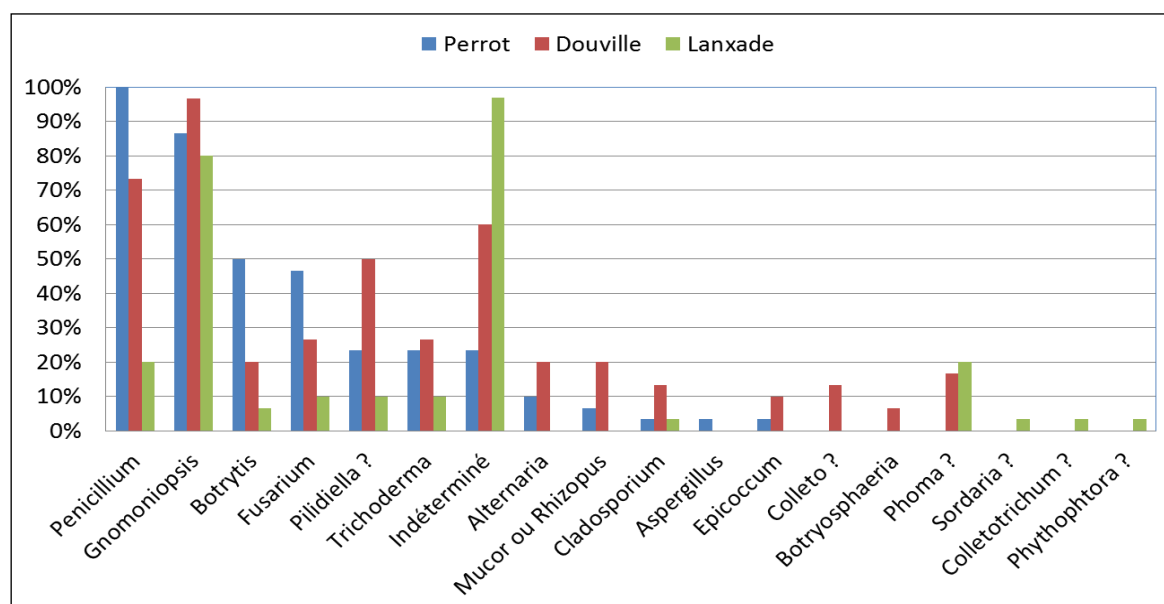


Figure 4 : Pourcentage de présence des différents champignons dans les 3 lots de châtaignes, issus de 2 parcelles en Dordogne (Lanxade et Douville) et d'1 parcelle en Ardèche (Perrot). Analyse fongique réalisée lors du projet D²BIOFRUITS.

En parallèle, des tests de pathogénicité ont été effectués pour identifier les souches de champignons majoritairement responsables des pourritures brunes par une mise en contact directe entre une gélose contenant le champignon et la chair des châtaignes des variétés Belle épine et Bouche de Betizac. Les 12 souches de champignons mises en contact ont toutes entraîné un développement de pourritures brunes sur la chair des châtaignes avec un développement de nécroses plus ou moins étendues. Il n'y a pas de tendance claire permettant d'identifier le champignon responsable majoritairement de ce type de pourritures. Le protocole n'est peut-être pas adapté avec une blessure de la châtaigne.

2. Évaluation de techniques physiques pour désinsectiser les fruits, lutter contre les pourritures et mieux préserver la qualité (ACTION 2)

Cette action avait pour but l'évaluation et la mise en application de techniques physiques pour réduire les pertes liées à des insectes ou à des pourritures. Des procédés utilisant des traitements thermiques (air chaud humide, eau chaude), de la lumière UV-C et/ou une modification de l'atmosphère de stockage (atmosphères contrôlées ou modifiées, chocs CO₂ ou anoxie) ont été étudiés. L'impact de ces traitements sur la qualité organoleptique a également été suivi au travers de mesures des paramètres physico-chimiques et des composés d'intérêt nutritionnel. Certaines techniques, notamment pour la conservation du raisin de table ont été évaluées à moyenne échelle chez deux opérateurs partenaires du projet afin de prendre en compte les conditions industrielles dans l'application de ces procédés.

2.1 Chocs gazeux pour désinsectiser les mangues et impact sur la qualité

L'influence d'une durée variable d'hypoxie sous azote sur le taux d'éclosion des œufs de mouche de la mangue (*Bactrocera zonata*) a été étudiée sur l'île de la Réunion. Une étude préliminaire avait montré que l'œuf était la forme la plus résistante dans le cycle de la mouche. Les travaux menés en 2014 ont consisté en une étude *in vitro* sur 12 répétitions de 100 œufs prélevés en cage d'élevage au sein d'un laboratoire du Cirad (PVMBT). Les durées d'anoxie testées étaient de 12, 24, 36, 48, 72, 96, 120 heures. Le but était d'obtenir 100% de mortalité, indispensable dans le cas d'insectes de quarantaine, avant export des fruits. L'humidité relative a été maintenue à un niveau élevé (98-99%, analogue à l'atmosphère interne d'une mangue) de façon à ce que la mortalité enregistrée sur les œufs soit due à l'anoxie et non au dessèchement. En parallèle, deux tests de dégustations triangulaires ont été effectués sur des mangues de la variété Kensington Pride, témoins et traitées pendant 96 h à 0% d'O₂ afin d'évaluer l'impact du traitement sur la qualité des mangues.

Les essais ont mis en évidence l'augmentation du taux de mortalité des œufs avec la durée d'anoxie. L'obligation d'une désinsectisation totale et complète oblige à rejeter les traitements les plus courts même lorsque le taux de survivants est en deçà de 1 %. Avec 96 h d'anoxie (100 % N₂), le taux de mortalité des œufs était de 100 %. Ce traitement a donc été retenu dans un premier temps comme traitement efficace contre l'éclosion *in vitro* des œufs de mouche des fruits. Les tests de dégustations n'ont pas mis en évidence de modification de la qualité des mangues traitées même après 96 h d'anoxie.

En 2015, ce protocole de traitement a été répété sur des œufs de mouche. Une modalité supplémentaire avec un choc CO₂ a été ajoutée avec pour objectif d'éliminer l'oxygène résiduel à l'intérieur des œufs avant le traitement anoxique de 96 et 120 h. Pour réaliser le choc CO₂, les œufs ont été placés dans une enceinte pendant 15 min à une pression de 1,8 bars, puis placés dans les bocal pour le traitement anoxique. Un autre essai *in vitro* a été réalisé pour tester l'efficacité de 5 huiles essentielles ou mélanges, fournis par la société Xeda, vis-à-vis de l'inhibition de l'éclosion des œufs.

Avec 96 h d'hypoxie (100 % N₂), le taux de mortalité des œufs était de 100 %. Cependant, une seconde série d'expérimentation n'a pas permis de valider totalement ce résultat ; selon les élevages de *B. zonata* testés, il y a eu des différences ; il a fallu 5 jours de traitement N₂ pour obtenir 98,5 % de contrôle dans la seconde série d'expérimentations (Tableau 5), ce qui n'est pas suffisant, puisque les 100 % sont visés. Le choc CO₂ n'a pas non plus eu d'effet significatif sur les taux d'éclosion. Les huiles essentielles ont eu un léger effet sur les taux d'éclosion, mais ne sont pas efficaces à 100 %. Une combinaison anoxie et huile essentielles pourrait s'avérer intéressante à tester.

Tableau 5 : Impact de traitements anoxiques sur la mortalité d'œufs de mouche de la mangue. Expérimentations menées dans le projet D²BIOFRUITS.

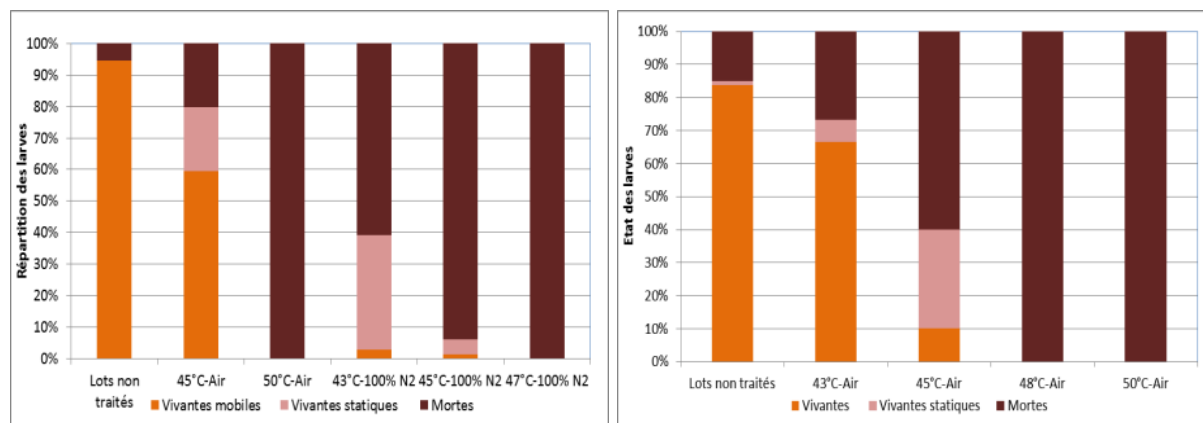
| Traitements | Inhibition des taux d'éclosion (%) | |
|--|------------------------------------|---|
| | Après traitement | Après traitement + 60 h à l'air ambiant |
| N ₂ 100% - 4 jours | 97,3 | 93,0 |
| N₂ 100% - 5 jours | 99,6 | 98,5 |
| CO ₂ 15 min - N ₂ 100% 4 jours | 100,0 | 91,3 |

2.2 Chocs gazeux et traitements thermiques pour désinsectiser et désinfecter les châtaignes et étude de l'impact sur la qualité

Les travaux ont porté sur l'étude d'un traitement combinant chaleur et anoxie pour tuer les larves de carpocapse (*Cydia splendana*), parasites de la châtaigne et responsables de fortes pertes. En première année du projet, un pilote a été construit à partir de deux cellules étanches de 200 L qui ont été équipées de systèmes de chauffage d'humidification et d'injection de gaz (CO₂ ou N₂) pilotés par un automate. Afin de préciser les conditions d'application, les premiers traitements ont été appliqués sur des larves extraites des châtaignes et placées en boîte de Pétri. Pour atteindre une mortalité totale, il est nécessaire d'appliquer une température de 45°C avec une humidité saturée et en absence totale d'oxygène (100 % de CO₂ ou 100 % d'azote) pendant au moins 40 minutes. Une température de 50°C permet d'avoir une efficacité similaire avec 40 % de CO₂ (Lurol et al., 2015).

En 2015, les paramètres de traitement ont été appliqués sur des lots de 50 châtaignes de la variété Bouche de Bétizac, présumés infestées par des larves de carpocapse. L'application d'un traitement de 40 min avec 100% de CO₂ ou 100% d'azote permet d'avoir un taux de mortalité de 100% des larves de carpocapses à l'intérieur des châtaignes. Compte-tenu du coût et de la dangerosité plus élevés du CO₂, l'utilisation d'azote a été préférée pour la suite des expérimentations.

En 2016, de nouveaux essais ont été menés pour suivre la montée en température de deux caisses de châtaignes entières de la même variété. Ensuite, plusieurs modalités de traitements ont de nouveau été appliquées sur des lots de 50 châtaignes et quatre répétitions. Les graphiques de la Figure 5 montrent que les deux modalités 50°C – Air et 47°C – 100% N₂ sont efficaces à 100% pour une durée de traitement de 40 minutes. La première modalité permet de se passer de l'utilisation de gaz. Cependant, la température de 50°C constitue une valeur limite et peut conduire à une altération de la qualité de la châtaigne. La combinaison chaleur et anoxie permet d'augmenter l'efficacité comme en témoigne le résultat obtenu à 45°C et 100% N₂. Toutefois, l'efficacité totale n'a pas été atteinte à l'inverse des résultats obtenus en 2015. La température de consigne doit donc être réglée à 47°C pour obtenir une efficacité totale et conserver un traitement relativement court.



En parallèle, un suivi visuel des pourritures et des analyses microbiologiques ont été réalisés sur les variétés Bouche de Betizac et Comballe afin d'évaluer l'impact des conditions de traitements et du type de gaz utilisé (CO₂ ou N₂) sur le développement des pourritures. De même, un test gustatif a été réalisé sur la variété Comballe et pour les 3 modalités suivantes : témoin non traité, 48°C - 100% N₂ et 48°C - 100% CO₂.

Le comptage des pourritures pour les différentes modalités de traitements a mis en évidence une légère diminution du taux de fruits pourris pour les modalités avec 100% de CO₂. Cela s'est confirmé visuellement dans les caisses de châtaignes avec un développement moindre de pourritures (*Penicillium* et *Botrytis*) dans les lots traités (100% N₂ et 100% CO₂). Pour la variété Comballe, ces différences n'ont pas été mises en évidence sur la base des observations visuelles. Toutefois, des analyses microbiologiques plus poussées ont montré un taux d'occupation des châtaignes par les champignons responsables de pourritures (*Gnomoniopsis* sp et *Pestalotiopsis* sp) plus faible pour les modalités avec 100% N₂ et 100% de CO₂ par rapport aux modalités témoins et traitées à 48°C avec de l'air. Le test gustatif (2 sur 5) réalisé sur la variété Comballe n'a pas montré de différence significative entre les modalités, indiquant une absence de modification du goût des châtaignes lors des traitements utilisant l'anoxie. Aucun dégustateur parmi les 12 n'a pu retrouver la séquence des lots présentés à la dégustation.

L'ensemble des résultats précédents sont décrits en détail dans un article publié au cours du projet (Lurol et al., 2017).

2.3 Impact des conditions de stockage sur le maintien de la qualité du raisin de table et sa qualité nutritionnelle

Des analyses physicochimiques classiques de composés volatils d'arômes et d'intérêt nutritionnel (vitamine C, polyphénols) ont été réalisées sur un lot de raisins de table Muscat de Hambourg biologique. L'impact sur la qualité de 3 modalités de conservation (atmosphère contrôlée à 5% O₂ et 15% CO₂, SO₂, trempage eau chaude de 2 min à 52°C) et 2 durées de stockage (14 et 28 jours à 0°C) a été évalué. Les analyses suivantes ont été effectuées à la récolte et en sortie de conservation : analyses physicochimiques classiques (poids, matière sèche, indice réfractométrique, acidité titrable), teneurs en sucres (saccharose, fructose, glucose), en acides organiques (acide malique et tartrique), en vitamine C (acide ascorbique et déhydroascorbique), en polyphénols (dont 5 flavanols, 2 flavonols, 3 acides hydroxycinnamiques, 6 anthocyanes, et 2 stilbenes) et en composés volatils d'arômes (dont 6 composés en C6, 11 terpénols et 1 alcools).

Les résultats ont montré qu'il y avait dans l'ensemble très peu de différences entre les techniques et les durées de stockage, au regard des paramètres biochimiques analysés en particulier au niveau des mesures physicochimiques classiques, des teneurs en sucres, en acides organiques et des teneurs en composés polyphénoliques. Par contre, au niveau des composés volatils d'arômes, les résultats montrent une diminution significative des composés en C6 (hexanal et (E)-2-hexenal), composés responsables des notes vertes et herbacées, pour les lots traités à l'eau chaude et conservés 28 jours. Au niveau des composés terpéniques, les résultats montrent également une nette diminution des teneurs en linalol, composé typique de l'arôme muscat, après 14 et 28 jours de conservation pour les modalités SO₂ et trempage à l'eau chaude. Concernant les lots conservés en atmosphère contrôlée, les teneurs en linalol n'ont pas été significativement différentes de celles observées à la récolte.

2.4 Désinfection par UV-C (sur mangue, raisin de table et pêche)

Les rayonnements UV-C sont connus pour leur effet germicide et représentent une technique physique, athermique d'amélioration de la conservation des produits. Les travaux menés ont eu pour objectif de

mieux définir et mieux comprendre le fonctionnement des UV-C sur la décontamination de mangues, pêches-nectarines et raisins de table et leur impact sur la qualité de ces fruits.

Un premier travail a été conduit pour déterminer l'effet *in vitro* des UV-C sur le développement du mycélium et des spores de 6 souches de moisissures phyto-pathogènes (Tableau 6) caractérisées préalablement macroscopiquement et microscopiquement sur gélose PDA avec confirmation de leur identité par séquençage de l'ADNr de la région ITS. Pour chaque souche, en quadruple, un plug (\varnothing : 5 mm) de mycélium (ou une suspension de 10^6 spores/ml de 10 μ L) a été déposé(e) au centre d'une gélose PDA en boîte de Pétri et les 4 boîtes ont été traitées avec un rayonnement UV-C pour cinq fluences différentes (Tableau 6). Après traitement UV-C, le diamètre des souches incubées à 25°C a été mesuré tous les jours jusqu'à saturation de la boîte de Pétri et comparé à celui des témoins n'ayant subi aucun traitement UV-C. Ces tests ont été réalisés en duplicata dans une enceinte UV-C.

Tableau 6 : Effet des UV-C sur le développement des spores et du mycélium de moisissures phytopathogènes en fonction de la fluence appliquée (0,2 ; 0,5 ; 0,8 ; 1 et 1,5 J/cm²) par rapport aux témoins non traités. Travail issu du projet D²BIOFRUITS.

| Espèce de moisissure | N° d'identification de la souche | Origine | Fluence (J/cm ²) à partir de laquelle inhibition totale du développement des spores | Fluence (J/cm ²) à partir de laquelle inhibition totale du développement du mycélium |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|---|--|
| <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> | MUCL43868 | Mycothèque de l'Université Catholique de Louvain | 0,2 | Pas d'inhibition |
| | MUCL43870 | | 0,8 | Pas d'inhibition |
| | MBIO2015 | CIRAD – UMR Qualisud | 0,8 | Pas d'inhibition |
| <i>Botrytis cinerea</i> | BC01 | Unité de Pathologie Végétale, INRA | 1 | Pas d'inhibition |
| | BC50 | | Pas d'inhibition | Pas d'inhibition |
| <i>Monilinia laxa</i> | FIAbBerga2014 | UERI-INRA | 0,2 | Pas d'inhibition |

Les tests *in vitro* ont montré que la sensibilité des moisissures phytopathogènes aux traitements UV-C est variable en fonction de l'espèce mais aussi de la souche, ainsi que de leur stade de développement (spores ou mycélium), le développement des spores ayant été plus affecté que celui du mycélium (Tableau 6). Pour toutes les souches, le développement du mycélium n'a pas été inhibé par les UV-C. En revanche, le développement des spores a été totalement inhibé à partir de fluences différentes en fonction de la souche, et à l'exception de la souche de *Botrytis cinerea* BC50 pour laquelle aucune inhibition n'a été observée.

Un second travail a consisté à étudier l'effet des UV-C sur la décontamination et la qualité des végétaux sélectionnés (Admane et al., 2016). Tout d'abord, des essais doses ont permis de définir les fluences n'induisant pas de nécroses sur les fruits. Les traitements sélectionnés ont été les suivants : 0,5 J/cm² pour les mangues et 0,4 J/cm² pour les pêches, les nectarines et les raisins de table. Ils ont été appliqués avant ou après inoculation d'une moisissure phyto-pathogène. Les traitements sur pêche n'ont pas été jugés concluants car le duvet de ces fruits est altéré par les UV-C. Seuls les tests sur nectarines ont été poursuivis. Sur ces dernières, les résultats ont montré un effet hormétique significatif et plus important que l'effet germicide (Tableau 7). Le traitement UV-C permet de stimuler le métabolisme secondaire des végétaux et de réduire ainsi l'apparition de nécroses après inoculation. Les activités chitinases ont été stimulées sur mangues après le traitement UV-C. Sur raisin, une augmentation importante du resveratrol, qui a un effet fongitoxique, a été observé dans les échantillons traités. Sur des baies non traitées directement par les rayons UV-C, une réduction de la taille des nécroses a été obtenue mais les analyses biochimiques n'ont pas montré de différence par rapport aux échantillons témoins. Ce phénomène de systémie est encore à explorer pour améliorer la compréhension du phénomène et proposer des modes d'application efficaces.

Tableau 7 : Évolution du % de nectarines nécrosées après inoculation et conservation (UV-C : 0,6 J/cm²). Travail issu du projet D²BIOFRUITS.

| | Nombre de jours après incubation | |
|------------------|----------------------------------|---------|
| | 3 jours | 6 jours |
| Témoin | 0 | 0 |
| UV-C | 0 | 30 |
| Inoculé | 70 | 100 |
| Germicide | 20 | 70 |
| Hormique | 0 | 30 |

Dans le cadre d'une évaluation sur de petits échantillons, les traitements UV-C ont permis d'inhiber et/ou de ralentir le développement de microorganismes *in vitro* ou présents à la surface des fruits. Les effets de stimulation hormétique sont très prometteurs car ils permettent de renforcer les défenses des produits de façon naturelle. Des recherches restent à être menées pour comprendre leurs mécanismes et proposer des outils transférables à la filière fruits et légumes.

2.5 Stockage du raisin de table sous atmosphère contrôlée dans des housses plastique palettes

La modification de l'atmosphère de stockage, à des teneurs proches de 5% d'O₂ et 10-15% de CO₂ est connue pour être efficace pour réduire les pertes liées au botrytis sur le raisin de table pendant la conservation. Dans le projet, deux opérateurs partenaires (S.A.S REUSE et ProNatura) ont souhaité mettre en place une conservation sous atmosphère contrôlée ou modifiée d'une partie de leur production de raisins en AB.

Une première technique a consisté à stocker du raisin dans des modules d'atmosphère contrôlée (housses palettes étanches). Le système PALLIFLEX de la société Van Amerongen (Hollande) a été acheté par la S.A.S REUSE, avec une capacité de stockage allant jusqu'à 30 palettes de raisins de table ou d'autres fruits. Au cours des trois années du projet, plusieurs palettes de raisins ont été conservées à l'aide de ce système (Figure 6).



Figure 6 : Système de housses palettes PALLIFLEX Van Amerongen (à gauche) et sachet Amcor (à droite).

Les travaux ont permis de valider à moyenne échelle cette technique. Elle permet de conserver du raisin de table bio sur une durée comprise entre 1 et 2 mois, à conditions de respecter un certain nombre de consignes et de suivre régulièrement l'évolution de la qualité des raisins par des déstockages partiels. La conservation doit être réalisée à une température de 0°C, une atmosphère de 5 à 7% d'O₂ et 12 à 15% de CO₂, suivie quotidiennement au niveau du logiciel de pilotage. Le raisin doit être le plus sain possible à la récolte et être refroidi le plus rapidement possible après cueillette (inférieur à 4h) pour limiter le flétrissement des rafles. La qualité et la fraîcheur du raisin mis en conservation sont primordiales. Ainsi en 2016, année marquée par une sécheresse estivale, les rafles

étaient relativement sèches à la récolte et se sont rapidement dégradées pendant la conservation, ce qui a limité la durée de stockage malgré le système de housse qui permet de réduire très fortement les pertes d'eau. Un ciselage est la plupart du temps nécessaire en sortie de stockage pour vérifier la qualité des grappes.

Une seconde technique de stockage, basée sur l'utilisation de sachets plastique sous atmosphère modifiée, a également été évaluée. Des sachets de différents fabricants (Tableau 8) ont été étudiés pour la conservation de raisins de table biologiques (variétés Muscat de Hambourg et Ribol) chez un producteur fournisseur de ProNatura.

Le suivi des atmosphères et de la qualité du raisin au sein des emballages a montré que la perméabilité des housses variait fortement, bien qu'elles soient conçues pour le raisin de table. Les taux de CO₂ restent bien inférieurs à 10 %, niveau à partir duquel un effet fongistatique est habituellement observé. Néanmoins, avec du raisin présentant une bonne qualité sanitaire à la récolte, les sachets ont permis un bon maintien de cette qualité sur une durée de 15 jours, avant commercialisation.

Tableau 8 : Types de sachets et de fournisseurs étudiés en 2014 lors du projet D²BIOFRUITS.

| Fabricant | Marque | Distributeur | Système de fermeture des sachets |
|-----------------------|-------------------|------------------------|----------------------------------|
| Amcor | Lifespan | Amcor | Variable (clips ou nœud) |
| Stepac | Xtend bag | Univers de l'emballage | élastique |
| Saint André Plastique | SAP Fresh | Saint André Plastique | Clip de serrage |
| Zoepack | MAP – Zoepack 60 | Decco France | Collier de serrage (rilsan) |
| Zoepack | MAP – Zoepack 100 | Decco France | Collier de serrage (rilsan) |

En 2016, un stockage de plusieurs dizaines de colis de raisins Muscat de Hambourg en AB dans des sachets de la société Amcor (Figure 6) a été mis en place chez deux producteurs fournisseurs de ProNatura. Après environ 1 mois de stockage la qualité des raisins était variable en fonction des pratiques post-récolte utilisées. Les raisins des colis qui ont pu être commercialisés étaient issus de parcelles irriguées pour limiter une déshydratation des rafles en fin de conservation. Le délai entre la récolte et la mise au froid était de 2 h et la récolte avait été réalisée le matin pour limiter le réchauffement du raisin. Le refroidissement de la récolte avait été réalisé rapidement dans une chambre ventilée et très humide (95% HR). Enfin, les colis avaient été conservés en chambre froide à 0°C. En conclusion, cette technique permet de prolonger la durée de conservation du raisin bio sur quelques semaines. En revanche, l'atmosphère n'est pas pilotée comme avec le système précédent. L'utilisation de sachets représente un investissement faible au départ mais une vigilance toute particulière est donc requise les années de forte pression de botrytis pour éviter les accidents en conservation.

3. Évaluation de nouvelles formulations à base de substances naturelles et de microorganismes pour désinfecter les fruits (ACTION 3)

L'objectif de cette action était d'étudier l'efficacité de formulations fabriquées à partir de substances naturelles (huiles essentielles) et de microorganismes antagonistes (levures) pour réduire les contaminants sur les fruits et mieux préserver leur qualité pendant le stockage et la distribution. Ces formulations ont été appliquées avant ou après récolte par trempage, pulvérisation ou en diffusion dans les chambres de stockage. En fonction des formulations, l'évaluation a été réalisée in vitro et/ou avec une application sur des échantillons de fruits ou parcelles expérimentales.

3.1 Évaluation de formulations à base de microorganismes en application pré-récolte et post-récolte

Le but était d'évaluer l'efficacité d'une levure antagoniste *Metschnikowia fructicola* (KM1110) fournie par la société Koppert vis-à-vis du développement de pourritures liées à *Monilia* et *Botrytis* sur pêche et raisin de table. Les levures ont été appliquées soit en culture avant récolte ou par trempage après récolte.

En pré-récolte, la formulation a été appliquée en traitement seul (plusieurs applications échelonnées) ou de manière intégrée au sein d'un programme de traitement phytosanitaire sur des parcelles de nectarines (WESTERN RED cov et ALLredal cov) et de raisins (Italia) en 2014 et 2015. Le développement des pourritures a ensuite été évalué par comptage des fruits atteints sur les arbres et après récolte. Dans les conditions climatiques des années 2014 et 2015 et sur les trois parcelles, le traitement avec la suspension de levure n'a pas mis en évidence d'efficacité significative de la levure KM1110 contre les Monilioses et le Botrytis par rapport aux témoins (Figure 7). L'année 2014 a été marquée par une très forte pression *Monilia* contrairement à l'année 2015 où la pression était très faible. D'autres essais avec cette formulation ont toutefois été poursuivis par la société Koppert postérieurement au projet et qui ont conduit à une demande d'homologation de la formulation en 2018.

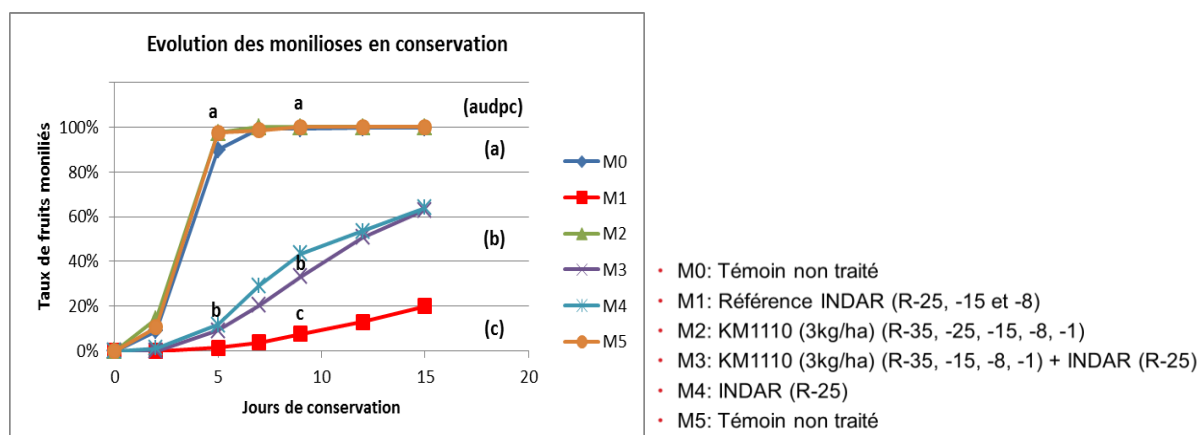


Figure 7 : Évaluation de modalités de traitements avec KM1110 sur la variété de nectarine Western Red (cov), lors du projet D²BIOFRUITS.

En post-récolte, la levure a été appliquée à la dose de 0,2 ou 0,4 % en traitement seul ou après un trempage des fruits dans de l'eau chaude pendant 50 secondes à 56°C pour les pêches et 2 minutes à 52°C pour le raisin. Quatre variétés de pêche ont été étudiées en 2014 et 2015 et une variété de raisin en 2014 et 2015. Pour l'ensemble des essais, il n'a pas été mis en évidence d'efficacité de la levure appliquée à froid sur les pourritures des pêches et du raisin (Figure 8) ou après un trempage dans de l'eau chaude. Un effet significatif de la levure a été mis en évidence sur le maintien de la qualité des rafles des raisins traités, mais qui n'a pas été confirmé en 2015.

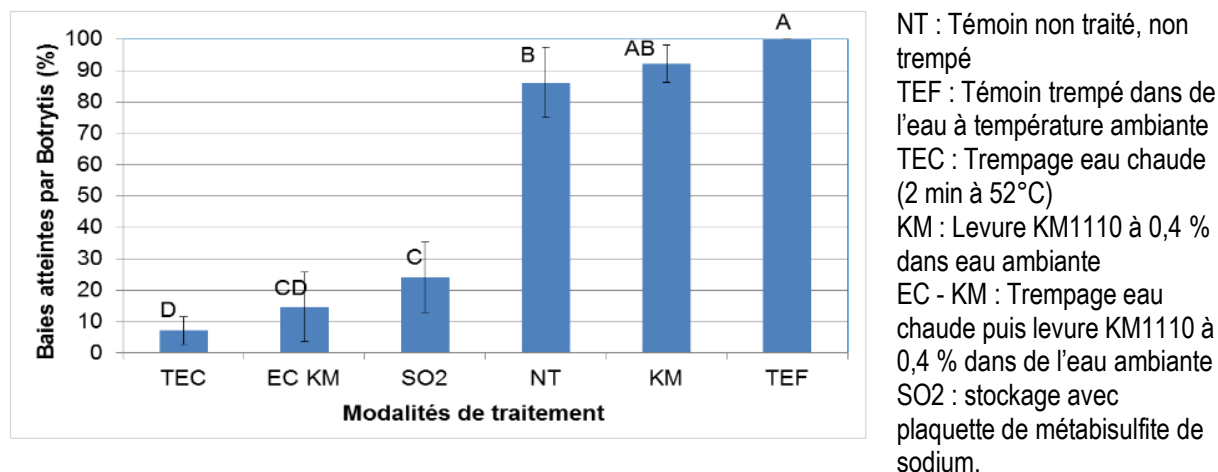


Figure 8 : Évaluation d'une application de KM1110 sur raisin Muscat de Hambourg par trempage à froid ou après un traitement eau chaude (notation des pourritures après 35 j à 0°C + 4 j à 20°C), lors du projet D²BIOFRUITS.

3.2 Évaluation de formulations à base d'huiles essentielles et de leur mode d'application sur mangue et pêche

Il s'agissait de valider l'efficacité antifongique d'huiles essentielles vis-à-vis de pourritures rencontrées sur pêches et mangues. Différentes formulations ont été évaluées *in vitro*, puis *in vivo* grâce à un module d'évaporation à froid fabriqué par la société Xeda (Xeda-Vap) ou par trempage dans de l'eau froide ou chaude.

L'étude *in vitro* a consisté à évaluer cinq huiles fournies par la société Xeda à base de carvone, d'eugénol, de géraniol ou de thymol, ainsi que d'autres huiles d'origine malgache vis-à-vis du champignon responsable de l'anthracnose de la mangue (*Colletotrichum gloeosporioides*). Les cinq premières huiles ont montré une efficacité totale sur les trois stades de développement du champignon (spores, mycélium, et appressoria) et supérieure aux huiles Malgaches, pour des doses élevées en 2014 (250 et 500 µL par boîte) et fortement réduites en 2015 (5 et 10 µL). Le thymol se distingue par un fort effet fongitoxique (pas de reprise de croissance après repiquage des spores et après 7 jours) (Chillet et al., 2016).

L'application d'huiles par évaporation à froid a été réalisée dans une chambre de stockage de pêches et de mangues. Un mélange d'huiles essentielles contenant de l'huile de girofle (eugénol) et de l'huile de menthe (L-Carvone) appliqué par diffusion pendant un stockage à 1°C sur 2 variétés de pêche n'a pas montré d'efficacité pour réduire le développement des monilioses, malgré des doses importantes (2 et 4 ml/jour et 10 et 28 ml/jour pendant 5 à 10 jours). Les résidus en eugénol et L-carvone, analysés sur les pêches traitées, étaient très élevés et expliquent l'odeur dégagée par les fruits et la modification du goût. Pour la mangue, la diffusion du mélange précédent a montré un effet positif, avec une limitation du développement des maladies post récolte et un ralentissement de la maturation. Cependant, les fruits ont présenté quelques symptômes de brûlures dus aux huiles essentielles. Dans une autre expérimentation sur des mangues Heidi, Cogshall, Tommy atkins, Kent inoculées avec *C. gloeosporioides*, l'application de thymol par diffusion n'a pas eu d'efficacité vis-à-vis du développement des nécroses.

Un travail a également été mené sur l'impact de l'application des traitements (huiles essentielles et anoxie) sur l'élucidation de mécanismes physiologiques de résistance aux pathogènes comme *C. gloeosporioides*, notamment les composés fongitoxiques comme les résorcinols et les polyphénols ou des activités enzymatiques comme les chitinases. Par exemple, l'application du thymol par volatilisation a permis une stimulation significative de l'activité de la Phénylalanine Amonia Lyase (PAL), enzyme clé impliquée dans la production de composés phénoliques. Cependant, cette augmentation de l'activité

s'amoindrit 4 jours après le traitement. Le thymol permet également de stimuler l'activité de la chitinase qui est impliquée dans la destruction des parois des champignons pathogènes. L'effet est très net 2 jours après le traitement, mais s'amoindrit à partir du 4^{ème} jour. Cependant, malgré l'activation des mécanismes de résistance, il n'y a pas d'effet sur le développement des nécroses. La stimulation n'est pas assez forte et durable. Des mesures ont montré que le thymol ne pénètre pas dans le fruit et reste sur les couches superficielles de la peau (Figure 9). Par ailleurs, le thymol disparaît quelques jours après la sortie du traitement ; l'activation des mécanismes est donc limitée et le pathogène sous forme appressoriale est uniquement bloqué durant la phase de traitement (Chillet et al., 2018).

Concernant l'application des huiles par trempage, les formulations ont été mélangées dans de l'eau à température ambiante (20°C - 50 sec) ou de l'eau chaude (56°C - 50 sec). En 2015, plusieurs doses de BioXeda (huile de girofle), de BioXedaPhos (huile de girofle + phosphonate de potassium) ou de XedaTim (huile essentielle de thym) ont été appliquées sur 2 variétés de pêche. Si l'eau chaude permet de réduire fortement le développement des pourritures pour les deux variétés de pêche (efficacité entre 70 et 80 %), l'ajout d'huile essentielle n'apporte qu'une légère efficacité additionnelle après 7 jours de stockage sur une seule variété (Figure 10). Les huiles n'ont pas montré d'efficacité lors d'une application dans de l'eau à température ambiante. Par ailleurs, le thymol s'est révélé phytotoxique à très faible dose entraînant des brûlures sur les fruits. En 2016, une seconde série d'essais a été menée pour évaluer l'impact du couple temps/température de l'eau sur l'efficacité des deux formulations BioXedaPhos et XedaTim moins dosées, sur deux nouvelles variétés. Ces deux formulations n'ont pas apporté d'efficacité supplémentaire aux traitements eau chaude seule (52°C – 2 min ; 56°C – 40 s ; 60°C – 15 s) qui ont permis une réduction du taux de fruits pourris comprise entre 70 et 90 %.

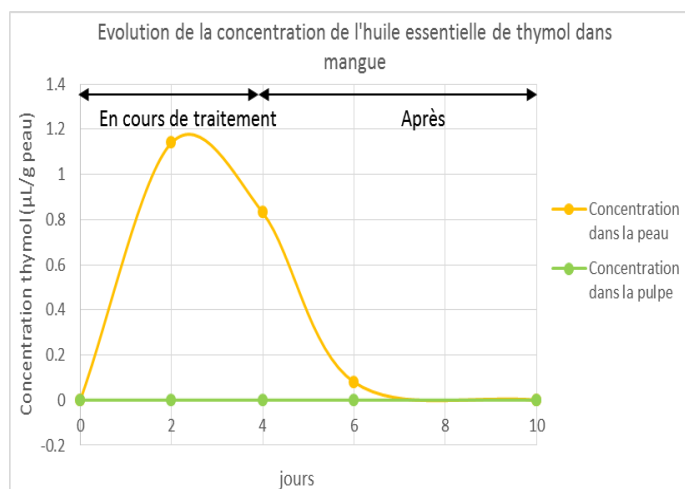


Figure 9 : Évolution de la concentration en thymol dans la peau et la pulpe de la mangue Kent. Mesures effectuées lors du projet D²BIOFRUITS.

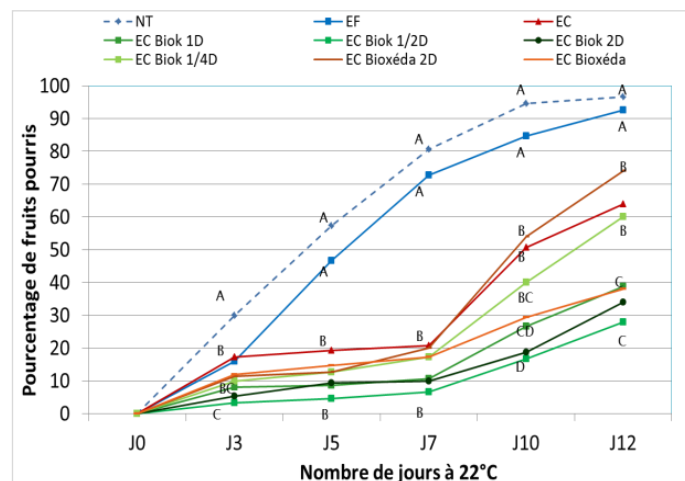


Figure 10 : Suivi des pourritures sur la variété de pêche Royal Pride® pour les différentes modalités de traitement (NT : non traité ; EF : eau froide ; EC : eau chaude seule à 56°C pendant 50s ; EC Biok : eau chaude + BioXedaPhos ; 1D : une dose, 1/2 D : demie-dose ; 1/4 D : quart de dose ; 2D : double dose), lors du projet D²BIOFRUITS.

Conclusion

Le projet D²BIOFRUITS a permis la réalisation d'un ensemble de travaux sur l'évaluation et la réduction des pertes sur quatre espèces de fruits : pêche, mangue, châtaigne et raisin de table. Des méthodologies de quantification et d'identification des causes de pertes ont été développées et peuvent à présent être proposées aux opérateurs de la filière fruits et légumes pour identifier les processus à l'origine de pertes qualitatives et quantitatives depuis la production jusqu'au consommateur. Le respect de bonnes pratiques dans l'enchaînement des processus permet la plupart du temps de limiter l'apparition de ces pertes.

Des méthodes physiques ou faisant appel à des produits de biocontrôle ont été étudiées sur les quatre espèces. Les premières se sont révélées être les plus efficaces pour réduire les dégâts liés à des bioagresseurs. L'application de chaleur humide combinée à une anoxie (47°C - 100% N₂ ou CO₂) ou d'eau chaude peut rapidement être transférée à grande échelle pour lutter respectivement contre les insectes de la châtaigne et limiter les pourritures des pêches après récolte. L'anoxie permet également une destruction presque totale des œufs de mouches de la mangue (100% N₂ pendant 5 jours) mais doit encore être optimisée dans le cas d'un traitement de quarantaine avant export. L'utilisation d'une atmosphère modifiée ou contrôlée permet de conserver des raisins de table issus de l'agriculture biologique jusqu'à 1,5 mois en respectant un itinéraire précis. L'efficacité des UV-C a été validée à petite échelle pour réduire le développement de certaines pourritures mais ils doivent être à présent étudiés sur des quantités de fruits plus importantes.

En ce qui concerne les produits de biocontrôle étudiés (levure antagoniste *Metschnikowia fructicola* et huiles essentielles), ceux-ci se sont révélés efficaces *in vitro* vis-à-vis des pathogènes des fruits mais cette efficacité n'a pas été confirmée *in vivo*.

Une partie des travaux initiés dans D²BIOFRUITS est poursuivie dans le cadre de l'UMT IQUAR agréée depuis 2017 avec certains partenaires du projet et dont le cœur d'étude concerne le développement de techniques pour réduire les pertes et améliorer la qualité des fruits et légumes frais.

Références bibliographiques

- Admane N., Verrastro V., Carlo Di Renzo G., Charles F., 2016. Impact of UV-C, pulsed light and modified atmosphere on quality properties of red table grapes during storage. VIII International Postharvest Symposium, Cartagena. Spain. 21-24 June 2016.
- Agence bio, 2016. Chiffres clés et analyses (<http://www.agencebio.org/les-donnees>).
- Baros C., 2017. Réduire le gaspillage des fruits et légumes frais Infos Ctifl 330, 15-21.
- Chillet M., Minier J., Ducrocq M., Meile J.C., 2016. Use of essential oils to control anthracnose development of mango due to *Colletotrichum gloeosporioides*. ISHS, 7 p. International Symposia on Tropical and Temperate Horticulture, Cairns, Australia, 20-25 November 2016.
- Chillet M., Minier J., Ducrocq M., Meile J.C., 2018. Postharvest treatment of mango: Potential use of essential oil with thymol to control anthracnose development. Fruits, 73(3).
- Conedera M., Jermini M., Sassella A., Sieber T.N., 2004. Récolte, traitement et conservation des châtaignes. Notice pour le praticien, WSL, Birmensdorf, 38, 1-12.
- Lurol S., 2014. Évaluation et réduction des pertes post-récolte - lancement du projet Casdar D²BIOFRUITS. Infos Ctifl N° 300 - p 26-31.
- Lurol S., Belaen C., Landry P., Verpont F., Hennion B., 2015. Heat treatments combined with high CO₂ or N₂ atmospheres to kill chestnut fruit tortrix larvae. In International Symposium on Innovation in Integrated and Organic Horticulture (INNOHORT). 1137, 251-254.
- Lurol S., Landry P., Deguet H., Belaen C., 2016. Désinsectisation des châtaignes après récolte - traitement thermique et atmosphère contrôlée (méthode CATTS). Infos Ctifl 324, 30-34.

Maresi G., Longa O., Turchetti T. (2013). Brown rot on nuts of *Castanea sativa* Mill: an emerging disease and its causal agent. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 6(5), 294.

Vernin X., 2017a. La casse de fruits et légumes dans les magasins spécialisés bio - anatomie des pertes. *Infos Ctifl* 336, 10-15.

Vernin X., 2017b. Les pertes et gaspillages dans la filière - Prémices d'une méthode quantitative post-récolte. *Infos Ctifl* 337, 8-16.

Visentin I., Gentile S., Valentino D., Gonthier P., Tamietti G., Cardinale F., 2012. *Gnomoniopsis castanea* sp. nov. (Gnomoniaceae, Diaporthales) as the causal agent of nut rot in sweet chestnut. *Journal of Plant Pathology*, 94(2), 411-419.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL